

天然气管道安全生产管理技术研究

王震宇（国家管网沈阳输油气分公司丹东作业区，辽宁 丹东 118000）

摘要：随着国内天然气管网的逐步扩展和运行时间的延长，许多管道逐渐进入老化阶段，增加了事故发生的可能性。为了保障天然气管道的安全运行，本次研究首先对天然气管道安全管理中存在的问题进行深入分析，在此基础上，开展天然气管道安全生产管理技术研究，为推动天然气管道安全生产管理领域的进一步发展奠定基础。研究表明：目前在开展天然气管道安全生产管理的过程中，主要存在水合物堵塞、管道腐蚀、环境问题、第三方施工以及安全意识薄弱等问题，因此，需要从提高管道防腐效果、提高管道动态管理能力、构建信息管理系统、安全生产标准化考评技术以及第三方施工预警技术等角度出发，采取多项有效措施，以此提高天然气管道运行的安全性。

关键词：天然气管道；安全生产管理；问题分析；技术研究；动态管理

天然气作为一种清洁高效的能源，在全球能源消费结构中占据重要地位。随着我国能源结构调整和天然气需求的持续增长，天然气管道作为主要的输送方式，其运行安全关系到国家能源战略的实施和社会经济的稳定。但是由于天然气具有易燃易爆和高压输送的特性，管道运输过程中面临着多种潜在风险，当前，我国天然气管道网络规模不断扩大，管道运行环境复杂，老旧管道比例逐年增加，同时地质灾害和管道腐蚀及人为因素的影响进一步加剧了安全生产管理的挑战^[1]。本次研究将对天然气管道安全生产管理过程中的问题进行总结，并提出合理的安全生产管理技术措施，以此保障天然气供应的稳定性。

1 天然气管道安全管理存在的问题分析

1.1 水合物堵塞

水合物是一种由天然气分子与水分子在低温高压条件下结合形成的类冰状晶体，由于部分天然气管道运行过程中常处于低温高压环境，天然气中的水分可能与烷烃、二氧化碳等气体组分形成水合物，进而在管道内壁或关键部件处积聚，引发堵塞问题。水合物堵塞已成为影响天然气管道安全运行的重要隐患，水合物的生成主要受温度、压力和气体成分的影响，当温度低于某一临界值或压力高于特定范围时，水合物晶体容易在管道中开始生成并快速累积。一般情况下流速低且管道内存有自由水或水汽，以及局部冷点的存在会加剧水合物生成^[2]。同时，在气体组分中，甲烷和乙烷等烃类气体是形成水合物的主要成分，含量越高，生成风险越大。水合物的累积会减少管道的有效通径，增大流动阻力，导致天然气输送效率降低，堵塞可能对阀门和流量计等设备产生机械损害，甚至

导致关键设备失灵。在堵塞的局部压力骤升情况下，可能引发管道破裂或泄漏，进一步导致火灾或爆炸等重大安全事故。

1.2 管道腐蚀

管道腐蚀是天然气输送过程中常见且严重的安全隐患之一，直接威胁管道的结构完整性和运行安全。腐蚀问题主要表现在管道内外壁的金属材料因化学或电化学而逐渐损耗，导致管壁变薄和承压能力降低，甚至发生泄漏或破裂事故。内腐蚀是管道内部由于输送介质中含有水分和二氧化碳等腐蚀性物质而发生的腐蚀现象，CO₂与水结合生成碳酸，碳酸对金属表面产生酸性腐蚀，形成点蚀或均匀腐蚀。在酸性环境中，H₂S与金属发生化学反应生成硫化物，导致金属脆化甚至发生应力腐蚀开裂，管道中的水分和固体颗粒等杂质也会加剧内腐蚀的发生。外腐蚀是由于管道外部与土壤或水分接触，受环境因素影响而发生的腐蚀，埋地管道与土壤接触，土壤的电导率和含水量会影响腐蚀速率，暴露在空气中的地面管道易受到湿气及工业污染物的腐蚀作用。腐蚀问题需要频繁进行维护和修复，显著提高企业的运营与管理成本^[3]。

1.3 环境问题

天然气管道的地理环境对其安全管理具有直接且深远的影响，管道通常穿越不同的地形地貌，包括平原和丘陵等多种复杂环境，这些地理特征不仅对管道的建设提出挑战，还在运行过程中带来诸多安全隐患。天然气管道在地震活动区容易因地面震动引发管道断裂甚至破裂，断层滑移可能导致管道严重变形或错位。在山地和丘陵地区，滑坡或泥石流会掩埋或破坏管道，导致严重的输送中断或泄漏，在高寒地区，季节性冻

土变化会引起管道上下浮动或移位,增加焊接点和支撑结构的受力。管道穿越河流时,洪水可能引发河床变化或侵蚀,导致管道裸露或悬空,增加断裂风险,湿地的高腐蚀性土壤和长期积水状态会加剧管道外壁的腐蚀速度,影响管道寿命^[4]。沙漠或高原地区的昼夜温差可能导致管道材料热胀冷缩频繁,增加疲劳失效风险,风沙对管道防腐层的磨损会导致外腐蚀加剧,进而威胁管道安全。海底管道需承受台风引起的水下强流冲击和海浪压力,可能发生结构性损伤,在城市扩张区域,施工挖掘和工程建设可能对埋地管道造成破坏,增加事故发生几率。

1.4 第三方施工

第三方施工是天然气管道安全管理中的一个重要隐患,常被视为引发管道事故的主要外部风险之一,第三方施工是指非管道运营单位直接或间接在管道附近进行的各种施工活动,包括建筑施工和道路开挖等。这类施工可能因缺乏管道相关知识或安全监管不到位而对管道造成破坏,从而引发泄漏或爆炸等严重事故。施工过程中使用机械设备进行开挖,容易误伤埋地管道,导致管道表面防腐层损坏甚至直接破裂,这种破坏通常具有隐蔽性,可能在短时间内未被发现,但随着时间的推移会逐渐恶化,引发事故^[5]。大型设备施工或地基处理可能引发周边土壤扰动,导致管道支撑不均和受力集中,从而出现管道移位或结构应力增大,严重时甚至会导致断裂,施工过程中遗留的金属物体可能造成管道外部电化学腐蚀,而施工垃圾堆积可能影响管道的巡查和监测,增加隐患排查的难度。部分第三方施工单位在未充分了解管道走向及相关保护措施的情况下,擅自施工,忽视管道标识和管理单位的警示,导致事故风险显著上升。

1.5 安全意识薄弱

安全意识薄弱是天然气管道安全管理中一个重要且隐蔽的风险源,对管道运营和周边环境的安全构成潜在威胁,安全意识薄弱主要表现为相关方对管道安全知识的匮乏以及安全管理执行力的欠缺。这种问题不仅存在于管道运营单位的部分管理与施工人员,还广泛存在于沿线居民及相关政府管理部门中,严重影响管道安全管理工作的有效开展。沿线居民对管道的存在及其潜在风险缺乏足够的了解,部分居民在管道保护区内从事农业耕作或深挖井坑等行为,容易破坏管道的防护层或导致结构性损伤。同时,居民在紧急事故发生时,往往因缺乏应急知识而延误疏散和报告,

增加事故危害程度。在运营单位中,部分管理人员和施工人员对安全管理制度的执行力度不够,存在敷衍应付和流于形式的现象,在巡查过程中未能发现或记录隐患问题,在管道维修作业中未严格按照安全规范操作等,这些问题可能引发次生安全事故。一些地方政府部门未能充分意识到天然气管道作为重要基础设施的特殊性和高风险性,未建立有效的联动监管机制,导致管道保护区内违规活动频发,部分地方在规划过程中未对管道走向和保护区范围进行明确标注,增加了管理难度。

2 天然气管道安全生产管理技术研究

2.1 提高管道防腐效果

提高管道防腐性能的首要措施是选择耐腐蚀性强的材料,采用高强度低合金钢制成管道,能够在保证管道强度的同时提高抗腐蚀性能。根据管道所处环境特点,可选用耐盐雾腐蚀或抗酸碱腐蚀性能优异的金属合金材料,例如不锈钢或涂覆金属陶瓷层的复合材料,材料的优化能够从源头减少腐蚀问题的发生,为管道防腐奠定基础。

防腐涂层是管道防腐的核心技术之一,其作用是隔绝金属表面与腐蚀介质的接触,熔结环氧粉末涂层具有优异的附着力和耐磨性,适用于各种气候条件,尤其适合管道运输高温和高压天然气的环境。聚乙烯三层结构防腐涂层由环氧底漆、粘接层和聚乙烯外层组成,能够提供优异的抗机械损伤能力,同时具有良好的耐化学腐蚀性能。高分子聚合物涂层如聚氨酯和聚酰胺涂层,这类涂层耐冲击性和耐紫外线性能出色,适用于暴露于地面的管道。阴极保护是一种通过电化学手段防止金属腐蚀的方法,分为牺牲阳极保护和外加电流保护两种。牺牲阳极保护技术是在管道周围埋设比钢管电极电位更负的金属阳极,通过腐蚀阳极材料保护管道金属。这种方法成本较低,适合中小型管道系统。外加电流保护通过外部直流电源将管道金属变成阴极,从而防止腐蚀,这种方法适用于长距离、大口径管道,能提供长期有效的防护。阴极保护技术需要结合防腐涂层使用,二者协同作用能够大幅提高管道防腐性能。

2.2 提高管道动态管理能力

管道动态管理离不开对海量监测数据的处理与分析,利用大数据技术可以对历史监测数据进行归集与分析,识别管道运行规律及常见故障模式。基于人工智能的机器学习算法,可以对异常数据进行智能诊断,

提高故障预测的准确性,通过压力波分析算法,可以快速检测管道泄漏的位置和规模。深度学习模型还可应用于管道内检测设备的数据处理,自动识别管道内部腐蚀和裂纹等缺陷,为动态管理提供精准的技术支持。天然气管道的动态管理涉及多方参与,包括管道运营企业以及沿线社区,建立信息共享平台,可以实现管道运行信息的透明化和协同化。

2.3 构建信息管理系统

信息管理系统是天然气管道安全生产管理的重要支撑工具,其建设需要整合多种先进技术,以实现管道全生命周期的动态监控和协同管理,通过构建功能完备的信息管理系统,可以提升管道运营效率,降低安全风险,并推动智能化管理水平。构建信息管理系统需要明确系统架构,通常采用分层分布式设计,包括感知层、传输层、数据层和应用层。感知层部署物联网设备,实现对管道运行状态的实时监测。传输层采用高可靠性的通信技术,保障管道沿线监测数据的高速稳定传输。数据层利用云计算平台存储、处理和分析管道运行数据,为上层应用提供数据支撑。应用层面向用户提供可视化管理界面,支持报警监测和决策支持等功能。高效的数据管理是信息系统运行的核心,通过统一的数据接口标准,实现多来源数据的无缝接入。利用数据清洗技术去除异常值和冗余数据,采用分布式存储系统处理大规模管道数据,通过数据分析算法提取管道运行趋势和故障模式等关键信息,并以图表和热力图等形式直观展现,为管理决策提供支持。

2.4 安全生产标准化考评技术

安全生产标准化考评是确保天然气管道安全生产管理工作的一个重要环节,它通过系统化且标准化的考评机制,提升管道企业的安全管理水平,确保管道运行过程中各项安全措施的实施。有效的考评不仅能够帮助企业识别安全管理中的薄弱环节,还能促进管道安全生产管理的持续改进。首先,天然气管道企业必须依据国家和行业的相关法规、标准以及企业自身的生产实际,建立一套完整的安全生产标准化考评标准体系,该体系应涵盖从管道建设到应急管理等方面,明确安全生产责任制,规定各级管理人员的安全管理职责,落实责任追究机制。对管道的设计和检测等各个环节提出具体要求,确保设备设施符合安全运行要求,建立健全的应急预案和演练机制,确保一旦发生突发事件,能迅速响应并采取有效措施。确保

管道周边环境和施工现场符合环保法规要求,避免因环境因素引发的安全事故,考评标准体系的制定不仅要具有科学性和可操作性,还要确保动态更新,根据实际生产情况和外部环境变化,定期修订考评标准,保持与时俱进。

2.5 第三方施工预警技术

为有效应对第三方施工的潜在风险,首先应建立完善的风险评估与预警体系,该体系应从多个维度进行综合评估,以确保及时发现潜在危险。对管道周边的第三方施工活动进行全方位的监测,评估施工活动对管道的影响,通过历史事故数据和地质勘查资料,分析施工活动对管道的可能危害,并评估不同类型施工可能带来的风险。根据不同施工类型的风险评估结果,为每种施工活动设定相应的安全预警阈值,一旦第三方施工活动的风险接近或超过设定阈值,系统会自动发出预警信号,提前采取防范措施。在第三方施工过程中,传统的监测方法可能无法及时发现一些隐蔽性强的施工风险,因此引入智能化的预警技术显得尤为重要,通过人工智能和物联网等技术,可以实现更加精准且高效的风险预测和预警。

3 结论

综上所述,天然气作为一种易燃且高压输送的能源,其运输和存储过程面临诸多安全风险,管道跨越多种地形,可能受到地质灾害和腐蚀等多种威胁,目前一些管道监控手段主要依赖人工或传统技术,无法实现全面的实时监测和精准预警。因此,未来需要引入更多的智能化技术,提高管道安全生产管理水平,为保障天然气管道的安全运行奠定基础。

参考文献:

- [1] 刘翔. 浅谈石油天然气管道安全管理问题及对策 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(15): 64-66.
- [2] 宗成远. 天然气管道安全生产管理技术 [J]. 石油知识, 2023, (01): 14-15.
- [3] 苏成果. 石油天然气管道安全管理存在的问题及解决方法 [J]. 化工管理, 2022, (28): 105-107.
- [4] 彭健锋. 天然气管道安全管理存在问题及对策 [J]. 化工管理, 2020, (29): 108-109.
- [5] 武黎爽. 基于天然气长输管道的安全问题及对策研究 [J]. 石化技术, 2020, 27(07): 335+339.

作者简介:

王震宇 (1978-), 男, 山东文登人, 大学本科, 工程师, 主要从事石油天然气长输管道储运工作。